

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан факультету радіофізики,  
біомедичної електроніки та  
комп'ютерних систем



Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**«КВАНТОВІ СЕНСОРИ»**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

галузь знань 10 природничі науки

(шифр і назва)

спеціальність 105 прикладна фізика та наноматеріали

(шифр і назва)

освітня програма радіофізика, біофізика та комп'ютерні системи

(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором

(обов'язкова / за вибором)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2024 / 2025 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № 6 від “ 24 ” червня 2024 року

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Дегтярьов Андрій Вікторович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри квантової радіофізики.

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 20 ” червня 2024 року № 11

Завідувач кафедри квантової радіофізики



(підпис)

Вячеслав МАСЛОВ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) Радіофізика, біофізика та комп'ютерні системи  
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми  
(керівник проектної групи) Олександр БУТРИМ



(підпис)

Олександр БУТРИМ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією  
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 24 ” червня 2024 року № 6

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем



(підпис)

Олександр БУТРИМ

(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Квантові сенсори” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки

бакалавр

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 105 – прикладна фізика та наноматеріали

освітня програма Радіофізика, біофізика та комп’ютерні системи

спеціалізації \_\_\_\_\_

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни полягає в оволодінні використання квантових методів і ефектів у реальній виробничій практиці, а також їх застосування у термометрії і фотометрії; ознайомлення з новими тенденціями розвитку сучасних квантових сенсорів.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є надання студентам необхідних знань та навички постановки та вирішення завдань наукових досліджень у галузі сучасних квантових сенсорів за допомогою сучасних методів та засобів теоретичних та експериментальних досліджень

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК-1)
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. (ЗК-5)
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. (ЗК-6)
- Навики здійснення безпечної діяльності. (ЗК-10)
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. (ЗК-11)
- Здатність виконувати аналіз спеціальної літератури, формулювати постановку наукової або науково-технічної задачі, обирати методи та методики, складати програми наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів. (ФК-1)
- Здатність відповідно до поставленої задачі виконувати науково-технічні розробки в галузі прикладної фізики та наноматеріалів. (ФК-4)
- Здатність самостійно опановувати нову апаратуру та технології, в тому числі із суміжних галузей, для розв’язання виробничих задач. (ФК-5)

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 90

Заняття проводяться у малочисельній групі.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна / <u>за вибором</u>
<u>Денна</u> форма навчання Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки
4-й
Семестр
8-й
Лекції
30
Практичні, семінарські заняття
15
Лабораторні заняття
–
Самостійна робота
45 год.
Індивідуальні завдання
–
Контрольні роботи – 2

1.6. Заплановані результати навчання – студенти повинні знати: методи та способи постановки та вирішення завдань фізичних досліджень у галузі сучасної квантової метрології; принципи дії, функціональні та метрологічні можливості сучасної апаратури для фізичних досліджень у галузі квантової метрології; вміти: самостійно ставити та вирішувати конкретні фізичні завдання наукових досліджень у галузі квантової метрології з використанням сучасної апаратури та комп'ютерних технологій.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Використовувати знання в галузі прикладної фізики, математики, електроніки та інформаційних технологій для виконання наукових досліджень та розв'язання виробничих задач. (ПРН-1)
- Знаходити та аналізувати наукову та науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики та наноматеріалів із вітчизняних та зарубіжних джерел, в тому числі з використанням сучасних пошукових систем. (ПРН-2)
- Обговорювати та знаходити прогресивні та інноваційні рішення проблем і завдань при виконанні науково-технічних та виробничих проектів. (ПРН-3)
- Коректно формулювати професійні висновки, апробувати їх та доносити до аудиторії різного фахового рівня, використовуючи сучасні методики наукової та технічної комунікації українською та іноземними мовами. (ПРН-6)

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### *Розділ 1. Фізичні ефекти і квантові сенсори.*

#### *Тема 1. Ефект Джозефсона і електричні вимірювання.*

Фізичні основи ефекту Джозефсона. Апаратура для відтворення напруги постійного струму на основі ефекту Джозефсона. Застосування ефекту Джозефсона у промисловості і приладобудуванні.

**Тема 2. Квантовий ефект Холла і вимірювання параметрів електричних кіл.**

Фізичні основи квантового ефекту Холла. Міра електричного опору на квантовому ефекті Холла. Первинний еталон одиниці електричного опору України. Перспектива розвитку – квантовий ефект Холла на графені.

**Тема 3. Ефект ядерного магнітного резонансу і електромагнітні вимірювання.**

Фізичні основи ефекту ЯМР. Коротка історія застосування ефекту ЯМР у метрології. ЯМР і еталони одиниці магнітної індукції. ЯМР і магнітні вимірювання.

**Тема 4. Світлові вимірювання: від свічки до квантових технологій.**

Із історії світлових (фотометричних) еталонів. Еталони одиниці сили світла на основі приймача. Первинний еталон України одиниці сили світла – кандели. Відтворення одиниці світлового потоку – люмена, еталон України. Перспективи квантового перевизначення світлових одиниць.

**Тема 6. Нова версія системи SI (New SI).**

Перевизначення одиниць і нова SI. Аналіз запропонованих визначень основних одиниць. Наслідки впровадження нової SI.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Розділ 1. Фізичні ефекти і квантова метрологія.</b>												
Тема 1. Ефект Джозефсона і електричні вимірювання.	18	6	3			9						
Тема 2. Квантовий ефект Холла і вимірювання параметрів електричних кіл.	18	6	3			9						
Тема 3. Ефект ядерного магнітного резонансу і електромагнітні вимірювання.	18	6	3			9						
Тема 4. Світлові вимірювання: від свічки до квантових технологій	18	6	3			9						
Тема 5. Нова версія системи SI (New SI).	18	6	3			9						
Разом за розділом 1	90	30	15			45						
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>30</b>	<b>15</b>			<b>45</b>						

#### 4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Відтворення одиниць активного опору і індуктивності за допомогою розрахункового конденсатора.	3
2	ЯМР і магнітні вимірювання.	3
3	Квантові ефекти і вимірювання параметрів інтенсивності.	3
4	Приймач на основі фотодетектора.	3
5	Семінар “ Наслідки впровадження нової SI”.	3
Усього годин		<b>15</b>

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання практичних і лабораторних занять	Кількість годин
1	Розділ 1. Тема 1. Застосування ефекту Джозефсона у промисловості і приладобудуванні.	9
2	Розділ 1. Тема 2. Структурна схема еталона електричного опору на квантовому ефекті Холла.	9
3	Розділ 1. Тема 3. Історія застосування ефекту ЯМР у метрології.	9
4	Розділ 1. Тема 4. Первинний еталон України одиниці сили світла – кандели.	9
5	Розділ 2. Тема 5. Перевизначення одиниць і нова SI.	9
Усього годин		<b>45</b>

#### 6. Індивідуальні завдання

Індивідуальних завдань не заплановано.

#### 7. Методи навчання

Курс побудовано на лекційних заняттях, що знайомлять студентів з теоретичним матеріалом, та з практичних занять, що складаються з трьох частин: 1) усне опитування по теоретичному матеріалу; 2) перевірка домашнього завдання; 3) розв’язання типових задач за темою, що вивчається. На самостійну роботу виведено низку питань, що стосуються змісту курсу, що вивчається, але не входять до лекцій та практичної роботи.

#### 8. Методи контролю

Поточний контроль включає роботу на практичних заняттях, самостійну роботу і виконання домашніх завдань (20 балів).

Після закінчення тем № 3 та № 5 курсу проводиться письмова контрольна робота, яка оцінюється у 20 балів кожна.

Підсумковий контроль – залік (40 балів).

## 9. Схема нарахування балів

Поточний контроль та самостійна робота						Залік	Сума		
Розділ 1						Разом			
T1	T2	T3	КР	T5	T6	КР			
4	4	4			4			4	
<b>12</b>			<b>20</b>	<b>8</b>		<b>20</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

T1, T2,... – номер теми.

КР – контрольна робота, передбачена навчальним планом.

Розділ зараховується студентові, якщо він набирає не менш 50 % можливих балів за тему. Студент допускається до заліку, якщо всі розділи зараховані. Студент не допускається до заліку, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 вважаються такими, що не допущені до заліку з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до заліку шляхом виправлення нульових оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей устанавлюється викладачами, котрі проводять відповідні заняття і контрольні заходи.

### Критерії оцінювання

1. Виконання кожного завдання залікового білета оцінюється балом за таблицею:

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недоброчесність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	10-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка заліка за 40-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3 ,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання залікового білету.

## 10. Рекомендоване методичне забезпечення

### Основна література

1. Вступ до квантової метрології: навчальний посібник Ю.Ф. Павленко і др. Вид-во «Підручник НТУ «ХП» 2013 - 148 с.
2. Ефект Джозефсона в метрології: сучасний стан / Ю.Ф. Павленко, П.І. Неєжмаков, Н.М. Маслова, В.В. Анікін // Український метрологічний журнал – 2015. – Вип.3. – с. 3–15.
3. Назаренко Л. А. Квантова радіометрія та фотометрія / Л. А. Назаренко, П. І. Неєжмаков, Є. П. Тимофеев // Український метрологічний журнал. – 2012. – № 1. – с. 30–35.

### Допоміжна література

4. XXIV CGPM, Paris, 2011. 24 CGPM Resolution 1. Резолюція 1 24-ї Генеральної конференції з мір та ваг. – Париж, 2011.
5. Katori H. Optical lattice clocks and quantum metrology / H. Katori // Nature Photon. – 2011. – № 5. – P. 203-210.
6. Uncertainty improvements of the NIST electronic kilogram / R. L. Steiner, E. R. Williams, D. V. Newell et al. // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2007. – V. 56, № 2. – P. 592–596.
7. Цюцюра В.Д. Метрологія та основи вимірювань : навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання-Прес, 2003. – 80 с.

## 11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Національний науковий центр «Інститут метрології»: <http://www.metrology.kharkov.ua/>
2. Державні еталони України: <http://metrology.kiev.ua/etalonna-baza/derzhavni-etaloni-ukrajini>
3. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
4. Сайт для початківців і практикуючих метрологів: <http://metrology.com.ua/>